デジタル出力付き低価格±2 g/±10 g 2軸 *i*MEMS®加速度センサー

ADXL202/ADXL210

特長

2軸加速度センサーをシングルICチップに集積
静的加速度と動的加速度を計測
設定可能な周期を持つデューティ・サイクル出力
低消費電力<0.6 mA
電解センサー、水銀センサー、熱センサーより高速応答
1軸当たり1個のキャパシタで帯域幅調整可能
60 Hz帯域幅で5 m gの分解能
+3 V～+5.25 Vの単電源動作
耐衝撃：1000 g

アプリケーション

2軸チルト（傾き）検出
コンピュータ周辺装置
慣性航法装置
地震監視装置
自動車セキュリティ・システム
バッテリ駆動のモーション・センサー

概要

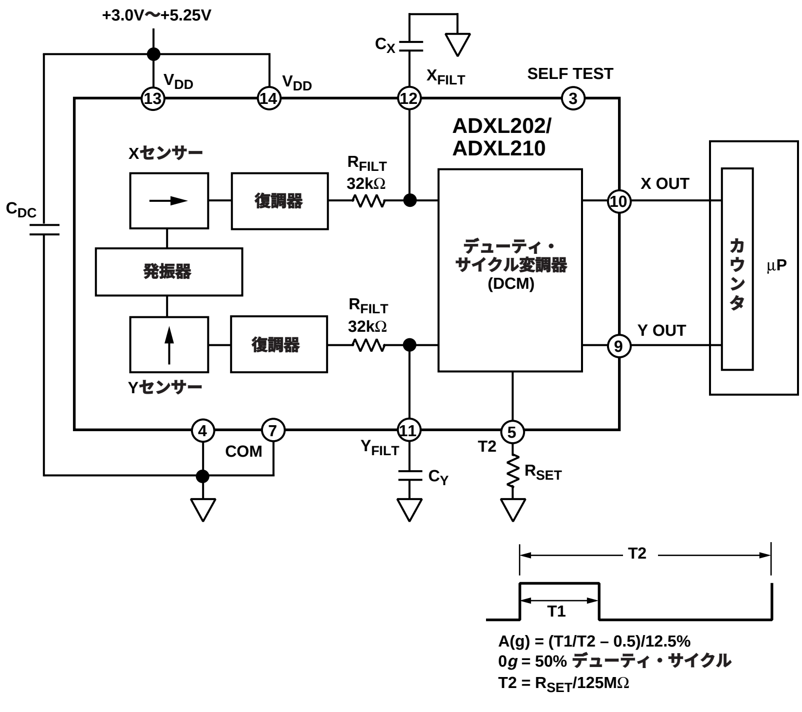
ADXL202/ADXL210は±2 gまたは±10 gの計測範囲を持つ低価格かつ低消費電力の2軸加速度センサーです。ADXL202/ADXL210は、動的加速度（例えば振動）と静的加速度（例えば、重力）を計測することができます。

出力はデジタル信号であり、このデジタル信号のデューティ・サイクル（周期に対するパルス幅の比）が各2軸の加速度検出値に比例するようになっています。これらの出力は、A/Dコンバータまたは外付けロジックなしで、マイクロプロセッサのカウンタで直接計測することができます。この出力周期は、1本の抵抗（R_{SET}）を使って、0.5 ms ～10 msの範囲に設定することができます。電圧出力が必要な場合は、加速度に比例する電圧出力をX_{FILT}ピンとY_{FILT}ピンから得ることができます。あるいは、デューティ・サイクル出力をフィルタリングして得ることができます。

ADXL202/ADXL210の帯域幅は、キャパシタC_XとキャパシタC_Yにより0.01 Hz～5 kHzの範囲で設定することができます。ノイズ・フロアは500 μg/$\sqrt{Hz}$（typ）であり、60 Hz未満の帯域幅に対して、5 mg未満の信号を識別することができます。

ADXL202/ADXL210は、14ピンのハーメチック表面実装CERPAKを採用しており、コマーシャル品は温度範囲0℃～+70℃の仕様で、工業用品は温度範囲−40℃～+85℃の仕様です。

機能ブロック図



*特許申請中。
*i*MEMSは、アナログ・デバイセズ社の登録商標です。

REV.B

アナログ・デバイセズ株式会社

本　　社／東京都港区海岸１－１６－１　電話03（5402）8200　〒105－6891
ニューピア竹芝サウスタワービル
大阪営業所／大阪市淀川区宮原３－５－３６　電話06（6350）6868㈹　〒532－0003
新大阪第２森ビル

ADXL202/ADXL210—仕様

（特に指定のない限り、T_A＝T_{MIN}〜T_{MAX}、T_A＝＋25℃（Jグレードの場合のみ）、V_{DD}＝＋5 V、R_{SET}＝125 kΩ、加速度＝0 g）

パラメータ	条件	ADXL202/JQC/AQC Min	Typ	Max	ADXL210/JQC/AQC Min	Typ	Max	単位
センサー入力	各軸							
計測範囲[1]		±1.5	±2		±8	±10		g
非直線性	最適直線		0.2			0.2		% of FS
アライメント誤差[2]			±1			±1		Degrees
アライメント誤差	XセンサーとYセンサーの間		±0.01			±0.01		Degrees
横感度[3]			±2			±2		%
感度	各軸							
1 g当たりのデューティ・サイクル	＋25℃でのT1/T2	10	12.5	15	3.2	4.0	4.8	%/g
感度、アナログ出力	X_{FILT}ピン、Y_{FILT}ピン		312			100		mV/g
温度ドリフト[4]	＋25℃からの変化		±0.5			±0.5		% Rdg
ゼロgバイアス・レベル	各軸							
0 gデューティ・サイクル	T1/T2	25	50	75	42	50	58	%
初期オフセット			±2			±2		g
対電源電圧0 gデューティ・サイクル			1.0	4.0		1.0	4.0	%/V
対温度0 gオフセット[4]	＋25℃からの変化		2.0			2.0		mg/℃
ノイズ性能								
ノイズ密度[5]	@＋25℃		500	1000		500	1000	$\mu g/\sqrt{Hz}$
周波数応答								
3 dB帯域幅	デューティ・サイクル出力		500			500		Hz
3 dB帯域幅	X_{FILT}ピン、Y_{FILT}ピン		5			5		kHz
センサー共振周波数			10			14		kHz
フィルタ								
R_{FILT} 許容偏差	公称32 kΩ		±15			±15		%
最小容量	X_{FILT}、Y_{FILT}	1000			1000			pF
セルフテスト								
デューティ・サイクル変化	“0”〜“1”でセルフテスト		10			10		%
デューティ・サイクル出力ステージ								
F_{SET}			125MΩ/R_{SET}			125MΩ/R_{SET}		
F_{SET} 許容偏差	R_{SET}＝125 kΩ	0.7		1.3	0.7		1.3	kHz
出力 High 電圧	I＝25 μA	V_S−200 mV			V_S−200 mV			mV
出力 Low 電圧	I＝25 μA			200			200	mV
対温度 T2ドリフト			35			35		ppm/℃
立上がり時間/立下がり時間			200			200		ns
電源								
動作電圧範囲		3.0		5.25	2.7		5.25	V
仕様性能		4.75		5.25	4.75		5.25	V
静止電源電流			0.6	1.0		0.6	1.0	mA
ターンオン時間[6]	99%まで		160 C_{FILT}＋0.3			160 C_{FILT}＋0.3		ms
温度範囲								
動作範囲	JQC	0		＋70	0		＋70	℃
仕様性能	AQC	−40		＋85	−40		＋85	℃

注
1 オフセット変化と感度変化のすべての組合せに対して。
2 アライメント誤差は、感度の真軸と指定軸との角度で規定。
3 横感度は、アライメントと固有感度誤差の代数和。
4 仕様は、＋25℃での初期値からT_{MIN}〜T_{MAX}でのワースト・ケース値までの、パラメータの最大変化を意味します。
5 ノイズ密度（$\mu g/\sqrt{Hz}$）とは、デバイス帯域幅内の任意の周波数における平均ノイズをいいます。
6 μFで表したC_{FILT}の値。フィルタ・キャパシタを追加すると、ターンオン時間が長くなります。アプリケーションの節の電源周期動作を参照してください。
すべてのmin値とmax値は保証しますが、typ値はテストされず、保証もされません。
仕様は予告なく変更されることがあります。

絶対最大定格*

加速度（任意軸、0.5 ms間電源切断）……………… 1000 g
加速度（任意軸、0.5 ms間電源印加）……………… 500 g
$+V_S$ ………………………………………… −0.3 V ～ +7.0 V
出力短絡時間
（任意のピンをコモンに接続）…………………… 無限
動作温度 ………………………………… −55℃ ～ +125℃
保存温度 ………………………………… −65℃ ～ +150℃

* 上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに永久的な損傷を与えることがあります。この規定はストレス定格の規定のみを目的とするものであり、この仕様の動作セクションに記載する規定値以上でのデバイス動作を定めたものではありません。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くとデバイスの信頼性に影響を与えます。

堅い表面に落下させると1000 gを超える衝撃を与えて、デバイスのこの最大定格を超えてしまうことがあります。損傷を与えないように取り扱いには十分注意してください。

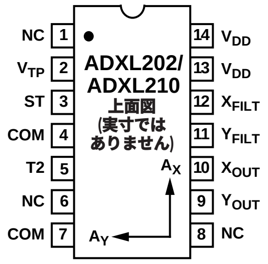
ピン機能説明

ピン番号	記号	説明
1	NC	接続なし
2	V_{TP}	テスト・ポイント、接続なし
3	ST	セルフテスト
4	COM	コモン
5	T2	T2周期を設定するためにR_{SET}を接続
6	NC	接続なし
7	COM	コモン
8	NC	接続なし
9	Y_{OUT}	Y軸デューティ・サイクル出力
10	X_{OUT}	X軸デューティ・サイクル出力
11	Y_{FILT}	Yフィルタ用のキャパシタを接続。
12	X_{FILT}	Xフィルタ用のキャパシタを接続。
13	V_{DD}	+3 V ～ +5.25 V、14ピンに接続
14	V_{DD}	+3 V ～ +5.25 V、13ピンに接続

パッケージ特性

パッケージ	θ_{JA}	θ_{JC}	デバイス重量
14ピンCERPAK	110℃/W	30℃/W	5グラム以下

ピン配置



NC = 接続なし

図1に、重力に対するADXL202の応答を示します。出力値は公称値で示してあります。地表に対するデバイスの方向変化によって各出力ピンに得られる応答を示しています。ADXL210は、スケールに対応する出力変化で同じように応答します。

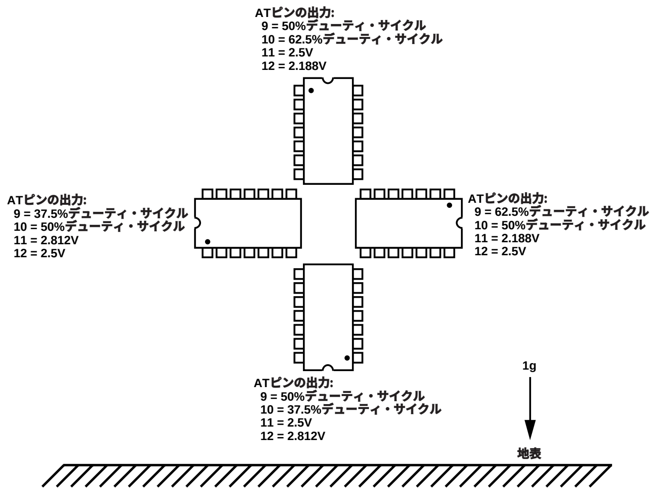


図1．重力に対するADXL202/ADXL210の応答（公称値）

オーダー・ガイド

モデル	g範囲	温度範囲	パッケージ	パッケージ・オプション
ADXL202JQC	±2	0℃ ～ +70℃	14ピンCERPAK	QC-14
ADXL202AQC	±2	−40℃ ～ +85℃	14ピンCERPAK	QC-14
ADXL210JQC	±10	0℃ ～ +70℃	14ピンCERPAK	QC-14
ADXL210AQC	±10	−40℃ ～ +85℃	14ピンCERPAK	QC-14

注意

ESD（静電放電）の影響を受けやすいデバイスです。4000 Vもの高圧の静電気が人体やテスト装置に容易に帯電し、検知されることなく放電されることもあります。このADXL202/ADXL210には当社独自のESD保護回路が備えられていますが、高エネルギーの静電放電にさらされたデバイスには回復不能な損傷が残ることもあります。したがって、性能低下や機能喪失を避けるために、適切なESD予防措置をとるようお奨めします。



ADXL202/ADXL210―代表的な性能特性

（特に指定のない限り、＋25℃、R_{SET}＝125 kΩ、V_{DD}＝＋5 V）

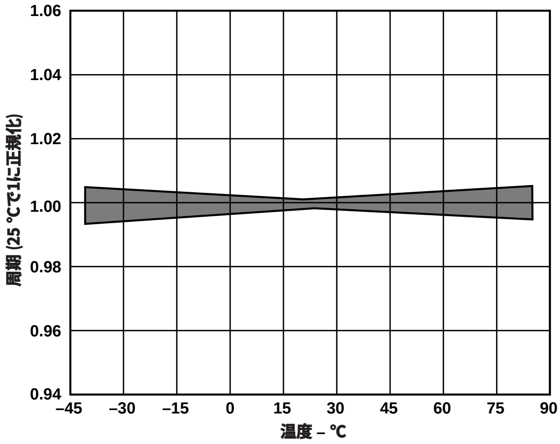


図2．正規化したDCM周期（T2）と温度の関係

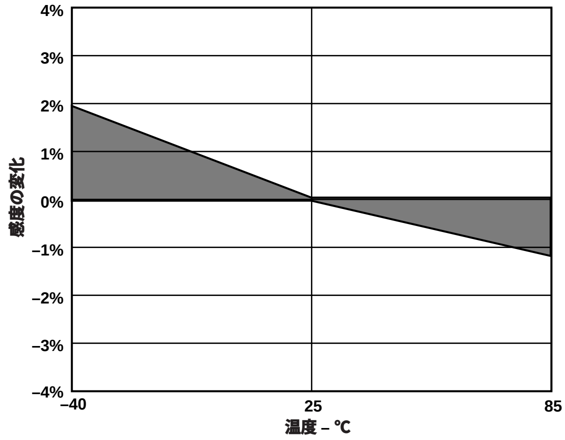


図5．X軸感度の温度ドリフト（typ）

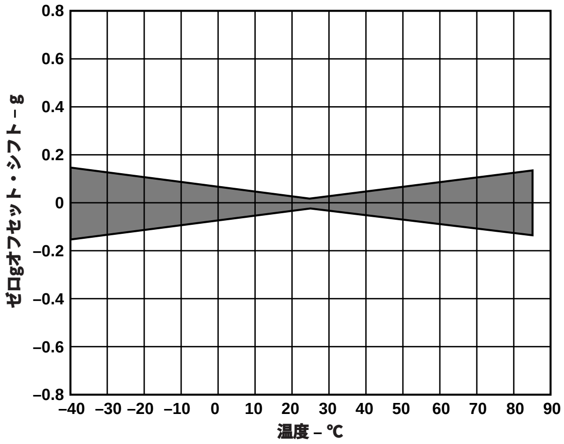


図3．ゼロgオフセット（typ）と温度の関係

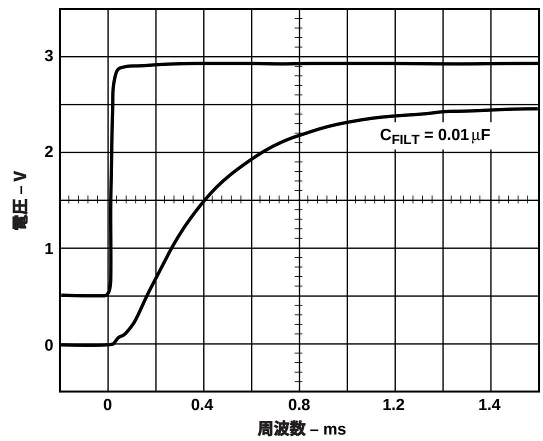


図6．ターンオン時間（typ）

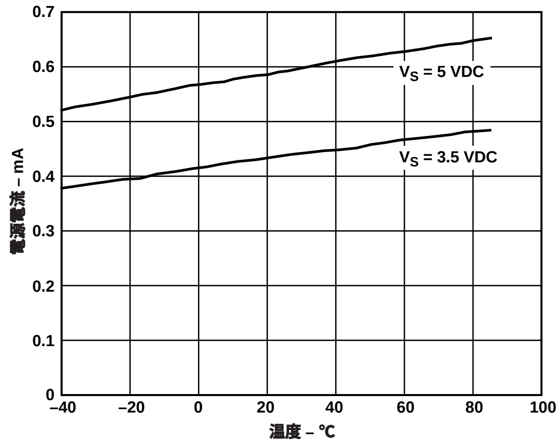


図4．電源電流（typ）と温度の関係

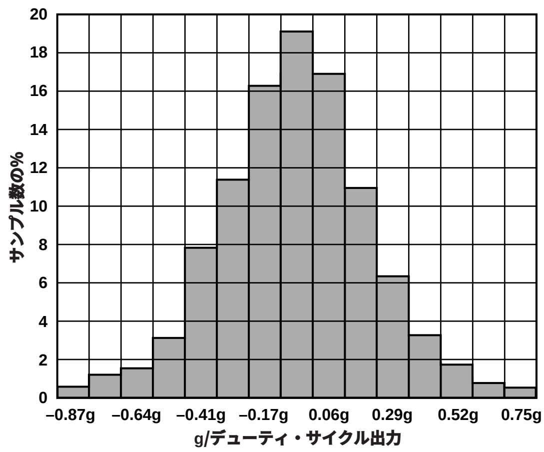


図7．＋25℃におけるゼロg分布（typ）

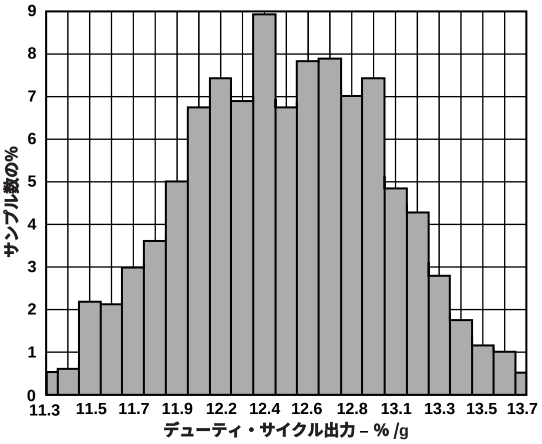


図8．＋25℃における1gに対する感度分布（typ）

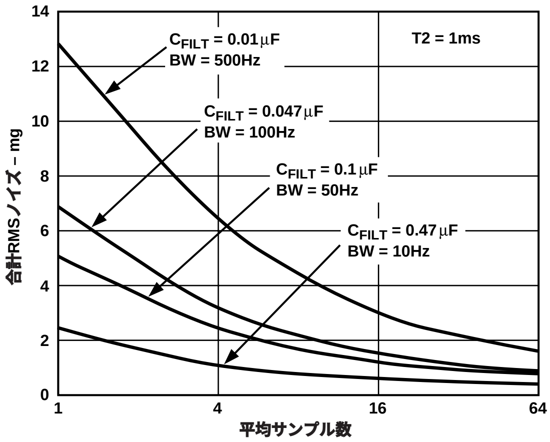


図10．デジタル出力でのノイズ（typ）

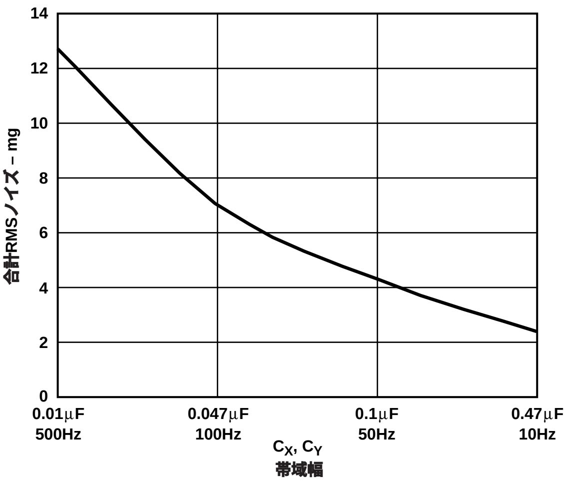


図9．X_{FILT}出力でのノイズ（typ）

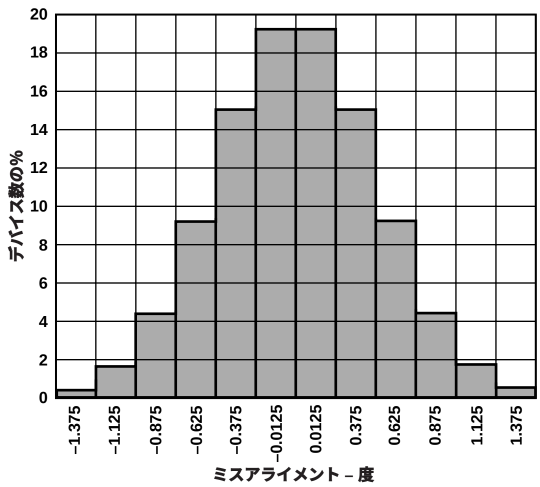


図11．チップ・ミスアライメントの分布

定義

T1	サイクルの“ ON ”部分の長さ
T2	サイクル全体の長さ
デューティ・サイクル	“ ON ”時間（T1）のサイクル全体（T2）に対する比T1/T2。ADXL202/ADXL210では、T1/T2として定義されます。
パルス幅	“ ON ”パルスの周期T1。ADXL202/ADXL210では、T1として定義されます。

動作原理

ADXL202/ADXL210はシングル・モノリシックIC上に集積された自己完結型の2軸加速度センサー計測システムであり、ポリシリコンを表面マイクロマシン加工したセンサーと信号コンデショニング回路を内蔵して、オープン・ループ加速度センサー計測アーキテクチャを構成しています。各軸に対して、出力回路はアナログ信号をデューティ・サイクル変調の（DCM）デジタル信号に変換します。このデジタル信号はマイクロプロセッサのカウンタ/タイマー・ポートを使ってデコードすることができます。

ADXL202/ADXL210は、最大レベル±2 gまたは±10 gの正および負の加速度を計測することができます。この加速度センサーは重力などの静的加速度の測定も可能で、チルト・センサーとしても使用することができます。

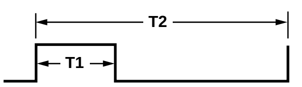
このセンサーは、表面マイクロマシン加工されたポリシリコン構造でシリコン・ウエハー上に構成されています。ポリシリコンのバネによりウエハー表面上にこの構造を支持して、加速度により発生する力に抗するようにしています。この構造の振れを、複数の独立した固定プレートと可動質量に取り付けられた中央プレートで構成される差動キャパシタを使って計測します。180度位相がずれた方形波により、この固定プレートを駆動します。加速度によりビームが振れると、差動キャパシタに不平衡が生じて、加速度に比例する振幅を持つ出力方形波が発生されます。位相検出復調技術を使ってこの信号を整流し、加速度の方向を決定します。

復調器出力は、32 kΩの抵抗を介してデューティ・サイクル変調器（DCM）ステージを駆動します。各チャンネルのこの点にピンが設けてあり、このピンにキャパシタを接続することにより、デバイスの信号帯域幅を設定することができます。このフィルタは、計測分解能を改善し、折り返しノイズを削減します。

ローパス・フィルタを通した後、DCMステージによりアナログ信号はデューティ・サイクル変調信号に変換されます。1本の抵抗により、サイクル全体の周期（T2）を0.5 ms～10 msの範囲に設定することができます（図12）。0 g加速度で、公称50%デューティ・サイクルが発生されます。加速度信号は、カウンタ/タイマーにより、または低価格マイクロコントローラを使用するポーリング・ループによりT1パルスとT2パルスの長さを計測することにより、求めることができます。

アナログ出力電圧は、X_{FILT}ピンとY_{FILT}ピンから出力される信号をバッファリングすることにより得ることができます。あるいは、デューティ・サイクル信号をRCフィルタを通してDC値に再生することにより得ることもできます。

ADXL202/ADXL210は、3.0 V～5.25 Vの電源電圧で動作することができます。



A(g) = (T1/T2 – 0.5)/12.5%
0g = 50%デューティ・サイクル
T2(s) = R_{SET}(Ω)/125MΩ

図12．出力デューティ・サイクル（typ）

アプリケーション

電源のデカップリング

大部分のアプリケーションに対して、1個の0.1 μFキャパシタCDCにより、電源上の信号とノイズから加速度センサーを十分デカップリングすることができますが、場合によっては、特にマイクロコントローラのようなデジタル・デバイスと電源を共用する場合には、電源上のデジタル・ノイズによりADXL202/ADXL210出力に干渉が生ずることがあります。これは多くの場合、X_{FILT}とY_{FILT}における電圧のゆっくりした変化として観測されます。デカップリングの追加が必要な場合は、100Ω（またはそれ以下）の抵抗またはフェライト・ビーズを、ADXL202/ADXL210の電源ラインに接続することができます。

ADXL202/ADXL210のデザイン手順

デューティ・サイクル出力を備えたADXL202/ADXL210を使用するデザインの手順には、デューティ・サイクル周期とフィルタ・キャパシタの選択が伴います。以下の節で説明するように、帯域幅、信号分解能、アクイジション時間に対するアプリケーション側からの要件を考慮する必要があります。

V_{DD}

ADXL202/ADXL210にはピン13とピン14の2本の電源（V_{DD}）ピンがあります。これらの2本のピンは、直接相互に接続しておく必要があります。

COM

ADXL202/ADXL210には、ピン4とピン7の2本のコモン（COM）ピンがあります。これらの2本のピンを直接相互に接続して、ピン7でグランドに接続する必要があります。

V_{TP}

このピンは開放のままにしておく必要があります。このピンには何も接続しないでください。

デカップリング・キャパシタC_{DC}

電源デカップリング用にV_{DD}とCOMの間に0.1 μFのキャパシタを接続することをお奨めします。

ST

STピンは、セルフテスト機能を制御します。このピンをV_{DD}に接続すると、静電気力が加速度センサーのビームに加えられて、ビームが動きます。ビームの移動により生ずる出力変化により、加速度センサーの機能をテストすることができます。出力変化（typ）は、10%デューティ・サイクル出力です（800 mgに対応）。

通常動作時は、このピンは開放のままにしておくことができます。または、コモンに接続しておくことができます。

デューティ・サイクルのデコーディング

ADXL202/ADXL210のデジタル出力は、一種のデューティ・サイクル変調器です。加速度は、T1/T2の比に比例します。ADXL202の公称出力は、次のようになっています。

0 g＝50%デューティ・サイクル

スケール・ファクタは、1g当たり12.5%デューティ・サイクル変化になっています。

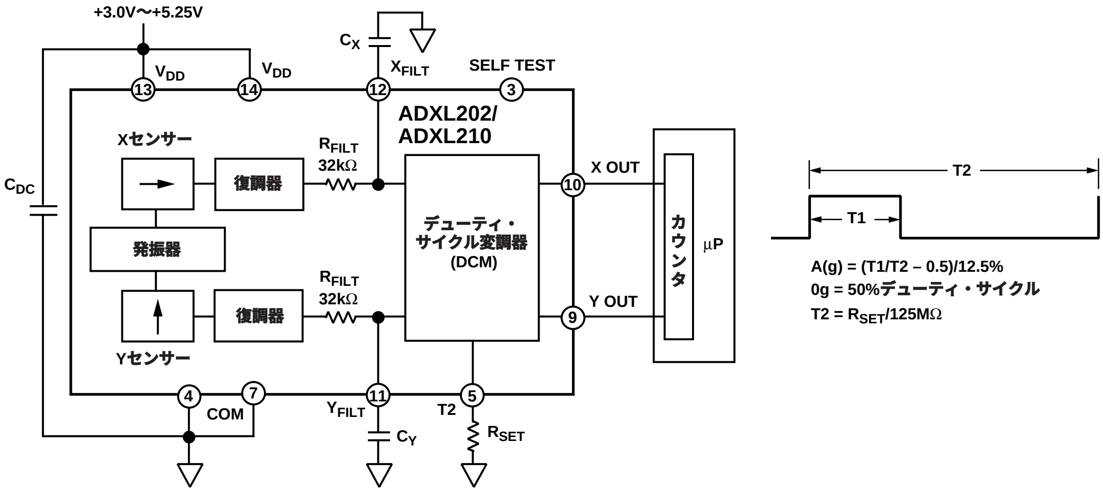


図13．ブロック図

ADXL210の公称出力は、次のようになっています。

$$0\,g = 50\%\text{デューティ・サイクル}$$

スケール・ファクタは1g当たり4%デューティ・サイクル変化になっています。

これらの公称値は、ゼロgオフセット誤差や感度誤差などのデバイスの初期許容偏差から影響を受けます。

T2は各計測サイクルで計測する必要はありません。温度に起因する変化（比較的低速な変化）を考慮するときにのみ更新する必要があります。T2周期はXチャンネルとYチャンネルの間で共通であるため、ADXL202/ADXL210の1チャンネルだけを計測することで済みます。種々のマイクロコントローラ用のデコーディング・アルゴリズムが既に制定されています。

該当するアプリケーション・ノートを参照してください。

C_XとC_Yによる帯域幅の設定

ADXL202/ADXL210では、X_{FILT}ピンとY_{FILT}ピンの帯域制限を行うことができます。これらのピンにキャパシタを接続して、折り返しノイズ防止とノイズ削減用のローパス・フィルタを構成する必要があります。

3 dB帯域幅は次式で表されます。

$$F_{-3dB} = \frac{1}{(2\pi\,(32\,k\Omega) \times C\,(x, y))}$$

簡略化すると、

$$F_{-3dB} = \frac{5\,\mu F}{C_{(x,\,y)}}$$

内部抵抗（R_{FILT}）の許容偏差は、公称値32 kΩに対して±25%の変動があります。したがって、帯域幅もこれに従って変化します。$C_{(X,\,Y)}$に対しては、すべてのケースで最小容量1000 pFが必要です。

表I．フィルタ・キャパシタの選択（C_XとC_Y）

帯域幅	キャパシタ値
10 Hz	0.47 μF
50 Hz	0.10 μF
100 Hz	0.05 μF
200 Hz	0.027 μF
500 Hz	0.01 μF
5 kHz	0.001 μF

R_{SET}によるDCM周期の設定

両チャンネルのDCM出力の周期は、R_{SET}とグランドの間に接続する1本の抵抗で設定します。周期は次式で表されます。

$$T2 = \frac{R_{SET}\,(\Omega)}{125\,M\Omega}$$

125 kΩ抵抗により、デューティ・サイクル繰り返しレートが約1 kHz（1 ms）に設定されます。このデバイスは、0.5 ms〜10 msのデューティ・サイクル周期で動作するようにデザインされています。

表II．T2設定用抵抗値

T2	R_{SET}
1 ms	125 kΩ
2 ms	250 kΩ
5 ms	625 kΩ
10 ms	1.25 MΩ

アナログ出力しか使用しない場合でも、R_{SET}を常に接続しておく必要があることに注意してください。X_{FILT}またはY_{FILT}から出力を取り出す場合は、500 kΩ〜2 MΩのR_{SET}値を使ってください。R_{SET}抵抗はT2ピンの近くに配置して、このノードの寄生容量を小さくしてください。

正しい加速度センサーの選択

大部分のチルト検出アプリケーションに対しては、ADXL202が最適な加速度センサーです。高感度（12.5%/g）により、低速カウンタを使ってPWMデコーディングが可能で、高い分解能を維持することができます。ADXL210は、±2 gより大きい加速度が予想されるアプリケーションで使用することをお奨めします。

マイクロコンピュータとのインターフェース

ADXL202/ADXL210は、特に低価格マイクロコントローラと組み合わせて使用するようにデザインされています。アナログ・デバイセズは、コード・セット、参照デザイン、アプリケーション・ノートを用意しております。この節では、一般的なデザイン手順の概要と考慮すべき種々のトレードオフについて説明します。

設計者は、システム性能の次の点について考えておく必要があります。

分解能：検出が必要な最小信号変化。

帯域幅：検出が必要な最高周波数。

アクイジション時間：各軸の信号が出力されるまでの時間

これらの条件は、加速度センサーの帯域幅、マイクロコントローラ・クロックの速度、T2周期の長さを決定するときに役立ちます。

マイクロコントローラの選択では、カウンタ・タイマー・ポートが使用できることが望まれます。マイクロコントローラでは、ソフトウェア・キャリブレーションが行える必要があります。ADXL202/ADXL210は非常に正確な加速度センサーですが、初期オフセットに対して広い許容偏差を持っています。

このオフセットを相殺させる最も簡単な方法は、マイクロコントローラに格納しているキャリブレーション係数を使うか、またはユーザーがゼロgキャリブレーションを行うことです。オフセットのキャリブレーションが製造時に行われる場合は、外付けEEPROMや"ワンタイム・プログラマブル"機能を持つマイクロコントローラの使用などの幾つかのオプションがあります。

フィルタ特性選択についてのデザイン上のトレードオフ：ノイズと帯域幅間のトレードオフ

加速度センサーの帯域幅の選択により、計測分解能（検出可能な最小加速度）が決定されます。フィルタを使用してノイズ・フロアを下げて、加速度センサーの分解能を上げることができます。分解能は、X_{FILT}とY_{FILT}にあるアナログ・フィルタの帯域幅とマイクロコントローラ・カウンタ速度に依存します。

ADXL202/ADXL210のアナログ出力は5 kHz（typ）の帯域幅を持ち、デューティ・サイクル・ステージの変換速度より遙かに高速です。この場所で、信号をフィルタして折り返し成分の誤差を制限しておく必要があります。DCM誤差を最小にするためには、アナログ帯域幅をDCM周波数の1/10以下にする必要があります。

多くのアプリケーションでは、DCM周波数の1/2までアナログ帯域幅を広げることができますが、これによりDCMでの動的誤差が増えてしまいます。アナログ帯域幅をさらに狭くすると、ノイズを減少させて、分解能を上げることができます。ADXL202/ADXL210ノイズは、全周波数に均等に成分を持つ白色ガウス・ノイズの特性を持っているため、μg /√Hzで表すことができます。すなわち、ノイズは加速度センサーの帯域幅の平方根に比例します。帯域幅をアプリケーションで必要とされる最小周波数に制限して、分解能と加速度センサーのダイナミック・レンジを最大にすることをお奨めします。

1極のロールオフ特性を使用すると、ADXL202/ADXL210のノイズ（typ）は次式で与えられます。

$$Noise\ (rms) = (500\,\mu g/\sqrt{Hz}) \times (\sqrt{BW \times 1.5})$$

100 Hzでは、ノイズは次のようになります。

$$Noise\ (rms) = (500\,\mu g/\sqrt{Hz}) \times (\sqrt{100 \times (1.5)}) = 6.12\ mg$$

ノイズのピーク値が必要な場合がしばしばあります。ノイズのピーク・ツー・ピーク値は、統計的な方法でのみ推定することができます。表IIIは、rms値で与えられた種々のピーク値を超える確率を推定するときに使うことができます。

表III．ピーク・ツー・ピーク・ノイズの推定

公称ピーク・ツー・ピーク値	ノイズがピーク・ツー・ピーク値を超える時間の%
2.0×rms	32%
4.0×rms	4.6%
6.0×rms	0.27%
8.0×rms	0.006%

この場合、ノイズのピーク・ツー・ピーク値は、1回の計測における不確定性に対して最も近い推定値を示します。

表IVに、C_XとC_Yの種々の値に対するADXL202/ADXL210のノイズ出力（typ）を示します。

表IV．フィルタ・キャパシタの選択（C_XとC_Y）

帯域幅	C_X、C_Y	rmsノイズ	95%確率のピーク・ツー・ピーク・ノイズ推定値（rms×4）
10 Hz	0.47 μF	1.9 mg	7.6 mg
50 Hz	0.10 μF	4.3 mg	17.2 mg
100 Hz	0.05 μF	6.1 mg	24.4 mg
200 Hz	0.027 μF	8.7 mg	35.8 mg
500 Hz	0.01 μF	13.7 mg	54.8 mg

T2とカウンタ周波数の選択：デザイン・トレードオフ

ノイズ・レベルは、加速度センサーの分解能を決定する1つの要因です。2つ目の要因は、デューティ・サイクル出力をデコーディングする際のカウンタ計測分解能に関係しています。

ADXL202/ADXL210のデューティ・サイクル・コンバータは、約14ビットの分解能を持っており、加速度センサーより優れた分解能になっています。ただし、加速度信号の実際の分解能は、デューティ・サイクルのデコードに使うカウンタ・デバイスの時間分解能により制限されます。カウンタ・クロックが高速であるほど、デューティ・サイクルの分解能が高くなり、与えられた分解能に対するT2周期を短くすることができます。次の表に、幾つかのトレードオフを示します。これは、マイクロプロセッサのカウンタに基づく分解能であることに注意してください。前述のように、加速度センサーのノイズ・フロアが分解能の下限を決めてしまうことがあります。

表V．マイクロコントローラのカウンタ・レート、T2周期、デューティ・サイクル変調器の分解能との間のトレードオフ

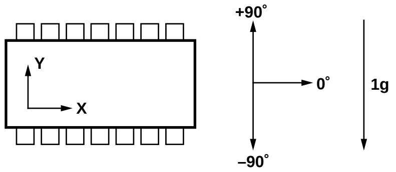
T2（ms）	R_{SET}（kΩ）	ADXL202/ADXL210のサンプル・レート	カウンタ・クロック・レート（MHz）	T2サイクル当たりのカウント数	1g当たりのカウント数	分解能（mg）
1.0	124	1000	2.0	2000	250	4.0
1.0	124	1000	1.0	1000	125	8.0
1.0	124	1000	0.5	500	62.5	16.0
5.0	625	200	2.0	10000	1250	0.8
5.0	625	200	1.0	5000	625	1.6
5.0	625	200	0.5	2500	312.5	3.2
10.0	1250	100	2.0	20000	2500	0.4
10.0	1250	100	1.0	10000	1250	0.8
10.0	1250	100	0.5	5000	625	1.6

デューティ・サイクル出力をマイクロコントローラと組み合わせて使用する方法

アナログ・デバイセズは、デューティ・サイクル出力と低価格マイクロコントローラを組み合わせて使用する種々の方法について説明したアプリケーション・ノートを提供しています。

ADXL202/ADXL210を2軸チルト・センサーとして使用する方法

ADXL202/ADXL210が最も広く採用されているアプリケーションの1つは、チルト（傾き）計測です。加速度センサーは重力を入力ベクタとして使って、空間内のオブジェクトの方向を決定します。加速度センサーの検出軸が重力に垂直な場合すなわち地表に平行な場合に、加速度センサーはチルトに対して感度が最高になります。この方向で、チルトの変化に対する感度も最高になります。加速度センサーの検出軸が重力に一致する場合、すなわち＋1 gまたは－1 gに近い値を出力するとき、チルト角当たりの出力加速度の変化は無視することができます。加速度センサーの検出軸が重力に垂直な場合は、チルト角当たり約17.5 mgで出力が変化しますが、45度ではチルト角当たり12.2 mgしか変化せず、分解能が低下します。次の表に、デバイスを重力に対して±90度まで傾けたときのX軸とY軸での変化を示します。



水平に対するX軸の方向（度）	X出力（g）	X出力 チルト角当たりの変化（mg）	Y出力（g）	Y出力 チルト角当たりの変化（mg）
−90	−1.000	−0.2	0.000	17.5
−75	−0.966	4.4	0.259	16.9
−60	−0.866	8.6	0.500	15.2
−45	−0.707	12.2	0.707	12.4
−30	−0.500	15.0	0.866	8.9
−15	−0.259	16.8	0.966	4.7
0	0.000	17.5	1.000	0.2
15	0.259	16.9	0.966	−4.4
30	0.500	15.2	0.866	−8.6
45	0.707	12.4	0.707	−12.2
60	0.866	8.9	0.500	−15.0
75	0.966	4.7	0.259	−16.8
90	1.000	0.2	0.000	−17.5

図14．チルト変化に対するX軸とY軸の応答

2軸チルト・センサー：加速度から傾きへの変換

X軸とY軸がともに地表と平行になるように加速度センサーを配置すると、ロール軸とピッチ軸を持つ2軸チルト・センサーとして使用することができます。加速度センサーの出力信号を－1 g～＋1 gの間で変化する加速度に変換した後、度で表した出力チルトは次のように計算されます。

ピッチ＝ASIN（Ax/1 g）

ロール＝ASIN（Ay/1 g）

範囲外に出てしまうことについても考慮しておく必要があります。加速度センサーは、振動、衝撃、またはその他の加速度により、±1 gを超える信号を出力することがあります。

360度のチルト計測

互いに垂直に配置された2つの加速度センサーを使うと、重力に対して360度の方向を検出することができます（図15）。一方のセンサーが角度当たりの出力で最大変化を出力しているとき、他方のセンサーは最小を出力します。

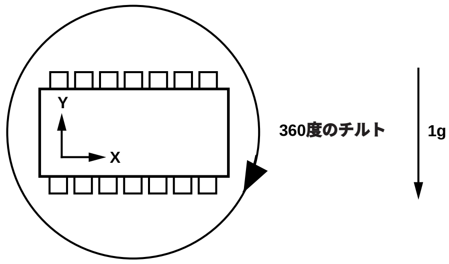


図15．2軸加速度センサーを使用する360度のチルト計測

アナログ出力の使用
ADXL202/ADXL210はデジタル出力を使用するように特別にデザインされていますが、アナログ出力も用意しています。

デューティ・サイクルのフィルタリング
デューティ・サイクル出力をフィルタリングすることにより、アナログ出力を再生することができます。この方法では、受動素子しか使いません。デューティ・サイクル周期（T2）は1 msに設定しておきます。デューティ・サイクル周波数に満たない最低1/10の3 dBカットオフを持つRCフィルタをデューティ・サイクル出力に接続します。フィルタ抵抗は100 kΩ以上にして、出力ステージの負荷にならないようにします。アナログ出力信号は電源電圧に比例します。この方法の利点は、出力スケール・ファクタがアナログ出力の約2倍になることです。また、欠点はX_{FILT}出力とY_{FILT}出力を使う場合に比べて周波数応答が劣ることです。

X_{FILT}出力とY_{FILT}出力の使用
2つ目の方法は、X_{FILT}ピンとY_{FILT}ピンに出力されるアナログ出力を使う方法です。不幸にも、これらのピンは32 kΩの出力インピーダンスを持っているため、負荷を直接駆動できるデザインになっていません。

このピンをバッファするときはオペアンプ・フォロワが必要になります。この方法の利点は、加速度センサーの5 kHz帯域幅全体を使用できることです。フィルタリングのために、この場所にキャパシタを接続することはこの場合も必要です。デューティ・サイクル・コンバータは、R_{SET}＜10 MΩを使って動作させておくことが必要です。加速度センサー・オフセットと感度は、電源電圧に比例することに注意してください。公称オフセットと感度は次のようになります。

0 gオフセット＝V_{DD}/2　　＋5 Vで2.5 V

ADXL202感度＝（60 mV×V_S）/g　V_{DD}＝＋5 Vで300 mV/g

ADXL210感度＝（20 mV×V_S）/g　V_{DD}＝＋5 Vで100 mV/g

超低消費電力アプリケーションでのADXL202/ADXL210の使用
ADXL202/ADXL210の低消費電力動作方法についてのアプリケーション・ノートがあります。幾つかの重要な点をここで説明します。次の方法を使うと、ADXL202/ADXL210の平均電流を0.6 mAから20 μA未満に減らすことができます。

1. 加速度センサーを周期的に動作させる。
2. 加速度センサーを低電圧で動作させる（3 Vに下げる）。

外付けA/Dを使用する周期動作
X_{FILT}キャパシタの値に応じて、ADXL202/ADXL210は1.6 ms以内にターンオンして正しい値を出力することができます。マイクロコントローラ・ベースの大部分のA/Dは、さらに25 μs以内に値を取得することができます。したがって、ADXL202/ADXL210をターンオンさせて2 ms以内に出力を取得することは可能です。20 Hzサンプル・レートで十分と仮定すると、20サンプルを取得するために必要な全電流は、2 ms×20サンプル/s×0.6 mA＝24 μAの平均電流になります。デバイスを3 Vで動作させると、電源電流は0.6 mAから0.4 mAに減少し、平均電流は16 μAに減少します。

A/Dは、ADXL202/ADXL210のXFILTピンとYFILTピンからアナログ出力を取得する必要があります。バッファ・アンプの使用が推奨されます。8ビット～10ビットのコンバータ分解能に合わせてアナログ出力を増幅することも必要な場合があります。

デジタル出力を使用する周期動作
もう1つの方法はデジタル出力を使用する方法で、高速クロック・レートでマイクロコントローラを動作させておき、読出しと読出しの間にシャットダウンさせて デジタル出力で使用できるようにします。この方法では、ADXL202/ADXL210を最高速のサンプル・レート（T2＝0.5 ms）に設定し、X_{FILT}とY_{FILT}には500 Hzのフィルタを使用する必要があります。基本的な考え方は、可能な限り高速で読出しを行った後に、次のサンプルが必要になるまで、ADXL202/ADXL210とマイクロコントローラをシャットダウンさせておくことです。

上に述べたいずれの方法でも、マイクロコントローラのデジタル・ポート・ピンを使って、直接ADXL202/ADXL210をターンオン/ターンオフして、外付け部品の追加なしで、加速度センサーに電源を与えることができます。ポートを使って加速度センサーのコモン・ピンをスイッチして、ポート・ピンが"プルダウン"されるようにする必要があります。

ADXL202/ADXL210のキャリブレーション
チルト計測などのアプリケーションに対しては、ADXL202/ADXL210のオフセットとスケール・ファクタの初期値をキャリブレーションする必要があります。ADXL202/ADXL210アーキテクチャは、これらのキャリブレーションをデューティ・サイクル信号をデコードするときに使うマイクロコントローラのソフトウェア内で行うようにデザインされています。キャリブレーション・ファクタはEEPROMに格納しておくか、またはターンオン時に決めてダイナミック・メモリに格納することができます。

小さいgのアプリケーションに対しては、重力が最も安定で正確であるため、便利な加速度基準として使います。0 gポイント値は、デバイスを地表に平行に向けて読み取ることができます。

さらに正確な感度キャリブレーション方法は、＋1 gと－1 gで計測を行う方法です。感度は2回の計測から決定することができます。

キャリブレーションを行うときは、加速度センサーの計測軸を直接地面に向けます。1 gの計測値を記録し、次にセンサーを180度回転して－1 gを計測します。この2つの計測値をA、Bで表すと、

A＝軸を＋1 gの方向に向けたときの加速度センサー出力

B＝軸を－1 gの方向に向けたときの加速度センサー出力

感度は次のように計算されます。

感度＝[A－B]/2 g

例えば、＋1 gの出力（A）が55%デューティ・サイクルで、－1 gの出力（B）が32%デューティ・サイクルの場合、

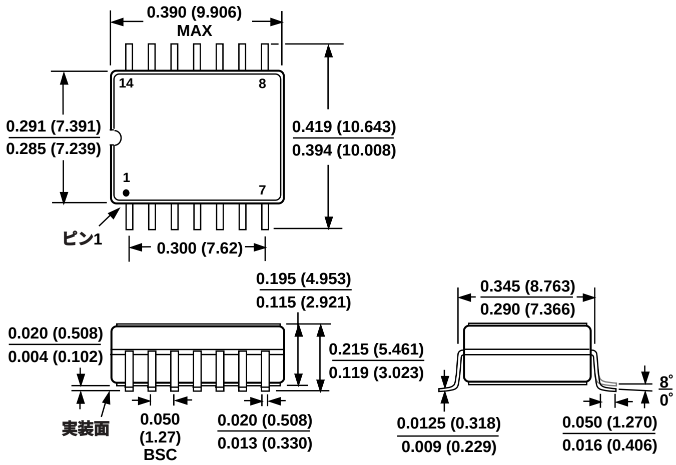
感度＝[55%－32%]/2 g＝11.5%/g

これらの式は、出力がアナログまたはデューティ・サイクルのときに使用できます。

アナログ・デバイセズは、デューティ・サイクルから加速度を計算するアルゴリズム、および自動キャリブレーション・ルーチンの概要を説明するアプリケーション・ノートを提供しています。

外形寸法
サイズはインチと（mm）で示します。

14ピンCERPAK
（QC－14）



D50112-2.7-8/99,1A

PRINTED IN JAPAN